

PENGARUH SUHU PERENDAMAN TERHADAP KOEFISIEN DIFUSI AIR DAN SIFAT FISIK KEDELAI (*Glycine max* Merrill)

[THE INFLUENCE OF SOAKING TEMPERATURE ON THE COEFFICIENT OF DIFFUSION AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOYBEAN (*Glycine max* *Merrill*)]

Oleh :

Yuanita Kusuma Pratiwi¹ , Sri Waluyo² , Warji³, Tamrin⁴

¹⁾ Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

^{2,3,4)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

✉ komunikasi penulis, email : ykusuma254@gmail.com

Naskah ini diterima pada 14 Maret 2013; revisi pada 3 Juli 2013;
disetujui untuk dipublikasikan pada 12 Juli 2013

ABSTRACT

*Soybean (*Glycine max* Merrill) is an important agricultural commodity and very popular in Indonesia as a raw material of such food stuffs for example: tempe. In the producing of tempe, soybean must be submerged in the water. The soaking process usually is done at room temperature for about 24-48 hours. The longer time of soaking can cause microbial contamination and may affect to the color change, bad taste and moldy smell. Submersion in warm water is a method that can be used for shortening the soaking time. The aims of this research were to study the effects of the soaking temperatures on the water diffusion coefficient and physical characteristics of soybean (moisture content, weight and dimension). The research was carried out at 5 levels of soaking temperature: 30 °C (as a control), 35 °C, 40 °C, 45 °C, and 50 °C with 3 replications for each treatment. During soaking, sample was taken for measuring its moisture content, dimensional, and weight changes. Temperature history was recorded during soaking. The result showed that there were significant changes on dimension, weight, and water content during soaking. Those parameters increased as the soaking temperature was risen. The diffusion coefficient of soybean also increased with rising of soaking temperature. The analysis found that the diffusion coefficients of soybean at temperature of 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, and 50 °C were respectively, $16.4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $20.7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $38.9 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $56.3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ and $139 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. The rate of diffusion followed an exponential equation $D = 0.058 e^{0,1051 / T}$ ($R^2 = 0.960$).*

Keywords: Diffusion coefficient, Soybean, Soaking Temperature, Physical Characteristics

ABSTRAK

Kedelai merupakan komoditi pertanian yang dalam pemanfaatannya dapat dikonsumsi dalam kondisi lunak. Prosesnya sering dilakukan dalam industri rumah tangga, yaitu industri pengolahan tempe. Pengusaha tempe menggunakan kedelai sebagai salah satu bahan baku dalam produksinya dimana kedelai sebelum diolah direndam terlebih dahulu. Perendaman kedelai dengan suhu ruang membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 24 - 48 jam. Perendaman yang terlalu lama dapat menimbulkan mikroba yang mengkontaminasi biji kedelai, yang mengakibatkan perubahan warna, rasa dan bau. Perendaman dengan air hangat adalah metode umum yang digunakan untuk mempersingkat waktu perendaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu perendaman terhadap sifat fisik (kadar air, bobot dan dimensi) dan koefisien difusi air kedelai (*Glycine max* Merrill). Penelitian ini dilakukan pada variasi suhu perendaman 30 °C (kontrol), 35 °C, 40 °C, 45 °C, dan 50 °C dengan 3 ulangan untuk masing-masing perlakuan. Parameter yang diukur adalah kadar air, perubahan dimensi, perubahan bobot bahan selama perendaman dan riwayat suhu perendaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang signifikan, semakin tinggi suhu perendaman maka semakin cepat peningkatan dimensi, bobot, dan kadar airnya. Koefisien difusi air kedelai pada perendaman dengan suhu 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, dan 50 °C, berturut-turut adalah $16,4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $20,7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $38,9 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$; $56,3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $139 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perendaman, maka semakin cepat laju difusinya mengikuti persamaan eksponensial $D = 0,058 e^{0,1051 / T}$ dan dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,960$.

Kata Kunci: Koefisien difusi, Kedelai, Suhu Perendaman, Sifat Fisik

I. PENDAHULUAN

Kedelai merupakan komoditi pertanian yang dalam pemanfaatannya dapat dikonsumsi dalam kondisi lunak. Prosesnya sering dilakukan dalam industri rumah tangga, seperti misalnya industri tempe. Pengusaha tempe menggunakan kedelai sebagai salah satu bahan baku dalam produksinya dimana kedelai sebelum diolah direndam terlebih dahulu. Perendaman kedelai untuk pembuatan tempe umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 24 - 48 jam. Perendaman yang terlalu lama dapat terkontaminasi mikroba serta dapat berpengaruh terhadap sifat fisik dan kualitas produk, misalnya warna, rasa, dan bau (Kashaninejad dkk., 2009).

Salah satu metode yang digunakan untuk mempersingkat waktu perendaman dengan menggunakan air hangat. Suhu air yang lebih hangat dalam proses perendaman mampu meningkatkan difusi air pada kedelai dan mempercepat pelunakan. Difusi merupakan peristiwa mengalirnya atau berpindahannya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah.

Proses difusi air di dalam biji kedelai selama perendaman adalah proses yang kompleks yang memungkinkan melibatkan difusi molekul serta difusi permukaan. Difusi akan terus terjadi hingga seluruh partikel air tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan. Berdasarkan konsep difusi dan pemanfaatan biji kedelai pada kondisi lunak, penelitian ini dilakukan dengan merendam biji kedelai pada variasi suhu untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap koefisien difusi. Pengetahuan tentang seberapa cepat absorpsi air yang dicapai dapat digunakan untuk memprediksi laju difusivitas air pada biji kedelai.

II. BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah water batch (Tipe Digiterm 200 merek P Selecta), timbangan analitik OHAUS (Triple beam balance 2610 g 5 lb 2oz), timbangan digital OHAUS (Adventurer cap

210 g), stopwatch, oven listrik (Venticell), thermometer, cawan, digital caliper, gelas ukur, dan kertas tisu. Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah kedelai varietas Merrill yang diperoleh dari toko Pasir Gintung, Bandar Lampung.

Sebelum dilakukan penelitian, biji kedelai disortir untuk memperoleh sampel yang seragam bebas dari gangguan hama, penyakit, serta kerusakan lainnya (cacat, pecah atau luka). Sebanyak 500 g biji kedelai diambil dan digunakan sebagai sampel untuk setiap perlakuan. Sebelum direndam, sebanyak 20 biji kedelai diambil secara acak untuk menentukan kadar air awalnya dengan menggunakan metode gravimetry.

Kadar air bahan dihitung dengan persamaan:

$$M_{(\%bb)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \% \quad (1)$$

$$M_{(\%bk)} = \frac{W_0 - W_1}{W_1} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan :

$M_{(\%bk)}$: kadar air basis kering (%)

$M_{(\%bb)}$: kadar air basis basah (%)

W_0 : massa awal biji kedelai (g)

W_1 : massa biji kedelai setelah dikeringkan (g)

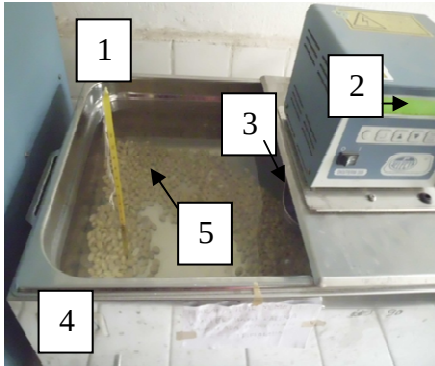
Semua unit percobaan dilakukan tiga kali ulangan. Sebanyak 500 gram kedelai direndam dalam water batch dengan tingkat suhu air yang telah ditentukan (Tabel 1).

Tabel 1. Variasi suhu dan waktu perendaman biji kedelai

Perlakuan	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Interval pengamatan (menit)
P ₁	30	450	30
P ₂	35	375	25
P ₃	40	300	20
P ₄	45	225	15
P ₅	50	150	10

Setiap interval waktu pengamatan, sebanyak 5 biji kedelai diambil untuk diukur dimensinya dan sebanyak 20 biji kedelai diambil untuk diukur bobotnya. Setelah itu

biji kedelai tidak dikembalikan lagi ke dalam air perendaman. Perendaman biji Kedelai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perendaman biji kedelai di dalam *water bath*

Keterangan:

1. Termometer air raksa
2. Panel pengatur suhu
3. *Heater* dengan *thermostat*
4. Tangki air (11 Litet)
5. Biji kedelai

Dari data kadar air selama perendaman, laju peningkatan kadar air kedelai dapat dihitung. Laju peningkatan kadar air biji kedelai dari hasil pengamatan selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien pembasahan (k) dan kadar air jenuh (M_s) dengan cara analisis regresi menggunakan persamaan 3.

$$\frac{M_0 - M_t}{M_0 - M_s} = e^{-kt}$$

Keterangan:

- M_t : kadar air biji kedelai pada waktu t (% basis kering)
 M_0 : kadar air awal biji kedelai (% basis kering)
 M_s : kadar air kesetimbangan (% basis kering)
 k : koefisien pembasahan (1/menit)
 t : waktu (menit)

Setelah mendapatkan nilai koefisien pembasahan dan kadar air jenuh, maka dapat digunakan untuk menghitung koefisien difusi (D) dengan menggunakan persamaan (4) berikut:

$$D = \frac{k^2 r^2}{4}$$

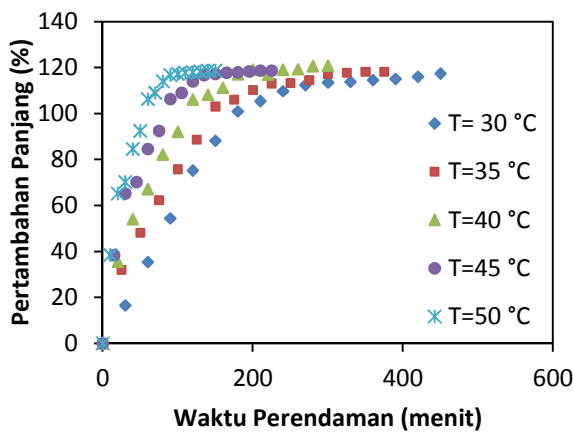
Keterangan:

- D : difusivitas massa (m^2 /menit)
 k : koefisien pembasahan (m^2 /menit)
 r : jari-jari rata-rata biji kedelai (m^2)

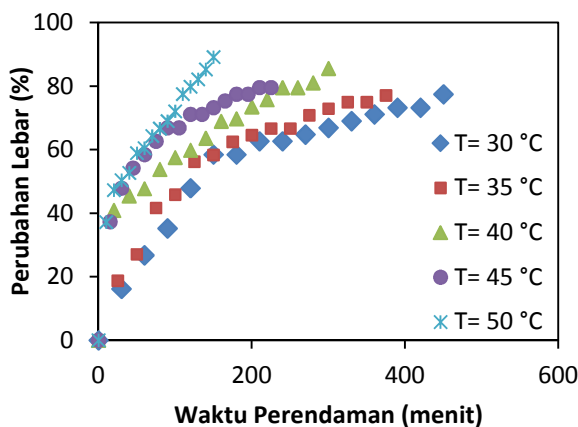
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh suhu perendaman terhadap perubahan dimensi biji kedelai

Data menunjukkan bahwa perendaman biji kedelai mengakibatkan dimensi biji kedelai (panjang, lebar dan tinggi) menjadi lebih besar dan akhirnya mencapai dimensi maksimum. Perubahan dimensi tersebut disebabkan adanya penyerapan air akibat difusi air perendaman konsentrasi tinggi pada biji kedelai yang bersuhu lebih rendah. Biji kedelai mengandung pati sebesar 34, 80 % (AAK, 1995), dimana pati tersebut akan menyerap air. Gardner dkk (1991) menyatakan bahwa pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air. Fraksi terlarut disebut amilosa merupakan polisakarida yang linier dan fraksi tidak larut disebut amilopektin (berupa cabang). Masuknya air ke dalam biji kedelai dapat merusak kristalinitas amilosa dan merusak helix sehingga granula pati membengkak, sedangkan suhu yang panas dapat menyebabkan pembengkakan yang tinggi. Peningkatan ukuran dimensi biji kedelai selama perendaman pada suhu yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4.

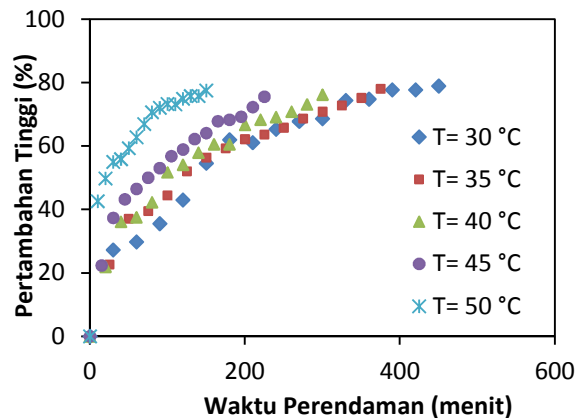


Gambar 2. Pertambahan panjang biji kedelai selama perendaman pada suhu yang berbeda.



Gambar 3. Pertambahan lebar biji kedelai selama perendaman pada suhu yang berbeda.

Perendaman pada suhu 30, 35, 40, 45 dan 50 °C menunjukkan persentase pertambahan panjang, lebar dan tinggi biji kedelai yang signifikan selama perendaman. Terjadinya pertambahan ukuran yang signifikan tersebut diduga disebabkan oleh struktur kulit biji bagian epidermis yang berperan sebagai penentu keberhasilan masuk tidaknya air ke dalam biji dan suhu air perendaman yang digunakan.



Gambar 4. Pertambahan tinggi biji kedelai selama perendaman pada suhu yang berbeda

Suhu air perendaman memacu penyerapan air ke dalam kulit dan daging biji terjadi lebih cepat. Kulit luar biji kedelai dengan ketebalan yang tipis, menyerap air lebih cepat dibandingkan dengan daging bijinya. Air yang masuk ke dalam biji menyebabkan pengerutan pada kulit, karena kulit menyerap lebih cepat dibandingkan daging biji, sehingga ukuran kulit lebih besar dibandingkan dengan daging biji. Kerutan tersebut akan segera hilang ketika air telah memenuhi daging biji dan kulit biji, sehingga ukuran daging biji sama dengan ukuran pada kulit biji. Sehingga menyebabkan pembengkakan pada biji kedelai, dan mencapai pada dimensi maksimumnya.

Dimensi maksimum biji kedelai dicapai pada waktu perendaman 150 menit, pertambahan panjang rata-rata dari panjang awal 0,56 cm yaitu sebesar 13,84% meningkat sebesar 1,21 cm yaitu sebesar 120 % , pertambahan lebar rata-rata dari lebar awal 0,47 cm yaitu 14,05% meningkat sebesar 0,84 cm yaitu sebesar 77, 46 % dan pertambahan tinggi rata-rata dari tinggi awal 0,40 cm yaitu sebesar 21,56% meningkat sebesar 0,72 cm yaitu sebesar 79,34%. Pertambahan dimensi biji kedelai berjalan seiring dengan bertambahnya bobot kedelai. Semakin lambat masuknya air ke dalam biji, maka perendaman terjadi semakin lama dan akhirnya terjadi kesetimbangan (jenuh).

3.2 Pengaruh suhu perendaman terhadap perubahan bobot biji kedelai

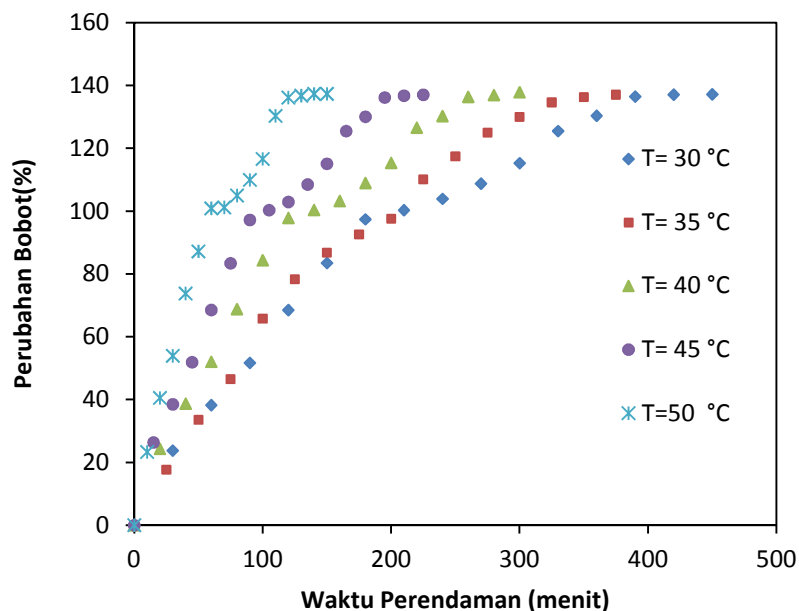
Berdasarkan hasil pengamatan, selama proses perendaman menunjukkan bahwa bobot biji kedelai mengalami perubahan selama perendaman seiring dengan lama waktu perendaman. Pengaruh suhu perendaman terhadap perubahan bobot biji kedelai dapat dilihat pada Gambar 5.

Suhu air perendaman berpengaruh terhadap perubahan bobot biji kedelai, semakin tinggi suhu perendaman maka semakin cepat perubahan bobot kedelai. Pada semua suhu perendaman perubahan bobot akan menuju berat maksimum, dimana bobot biji kedelai tidak lagi meningkat dengan signifikan. Bobot biji kedelai mencapai berat maksimum untuk semua suhu perendaman dicapai setelah 150 menit perendaman dari bobot awal dengan bobot rata-rata sebesar 3,43 g yaitu sebesar 19,10% meningkat sebesar 8,13 g yaitu sebesar 137%.

Perubahan bobot biji kedelai tersebut ditandai dengan masuknya air ke dalam biji selama proses perendaman berlangsung.

Firdaus dkk (2006) dalam Anonim (2012) menyatakan bahwa penyerapan air oleh biji dipengaruhi dari berbagai faktor, yaitu kadar air bahan, permeabilitas kulit biji atau membran biji, suhu, luas permukaan biji yang kontak dengan air dan tekanan hidrostatik. Laju air ke dalam biji kedelai semakin tinggi dengan meningkatnya suhu, mengikuti persamaan Arrhenius. Suhu berpengaruh dalam meningkatkan energi, sehingga daya dorong air ke dalam biji terjadi lebih tinggi. Partikel air akan memiliki energi untuk bergerak lebih cepat dengan suhu yang lebih tinggi.

Semakin tinggi suhu air perendaman maka pori-pori biji kedelai semakin besar karena protein pada membran sebagian rusak, sehingga menyebabkan difusi air terjadi lebih cepat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Darmajana (2012) bahwa dalam perendaman kedelai terjadi masuknya air ke dalam biji kedelai sehingga terjadi proses difusi. Proses difusi tersebut ditandai dengan adanya kenaikan berat kedelai dan berkurangnya jumlah air perendaman.

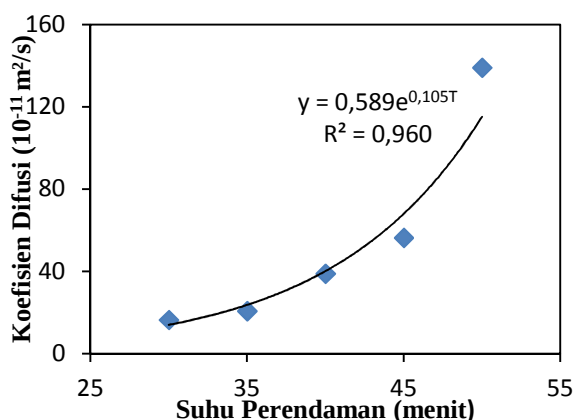


Gambar 5 Peningkatan Bobot Biji Kedelai

Semakin lama perendaman, peningkatan bobot biji kedelai semakin lambat hingga akhirnya tidak meningkat lagi. Hsu dkk (1983) dalam Krisnawati dan Adie (2008) menyatakan bahwa suhu, konsentrasi larutan, dan kadar air biji berkorelasi kuat dengan laju penyerapan air maksimum pada biji kedelai. Hal tersebut dikarenakan waktu perendaman yang semakin lama akan memberikan kesempatan yang lebih lama bagi air untuk masuk ke dalam seluruh bagian biji.

3.3. Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Perubahan Kadar Air dan Difusivitas Biji Kedelai

Peningkatan kadar air kedelai digunakan untuk menghitung koefisien difusi air biji kedelai. Pengaruh suhu perendaman terhadap koefisien difusi air kedelai.



Gambar 1. Koefisien difusi air perendaman biji kedelai pada suhu yang berbeda

Gambar 6 menjelaskan bahwa hubungan suhu terhadap koefisien difusi air yaitu difusi semakin besar pada suhu air yang lebih hangat. Hubungan suhu terhadap koefisien difusi didapat dengan menggunakan persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$D = A e^{-E/RT} \quad (5)$$

Keterangan :

A = tetapan laju difusi (m^2/s)

E = energi aktivasi dari transfer massa (KJ/mol)

R = konstanta gas ideal (kJ/mol $^{\circ}K$)

T = suhu mutlak ($^{\circ}K$)

k = $k = -E/R =$ koefisien pembasahan (m^2/s)

D = difusivitas massa (m^2/s)

Data penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perendaman, maka semakin cepat laju difusinya mengikuti persamaan eksponensial sebagai berikut:

$$D = 0,058 e^{0,105 1/T}$$

dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,960$. Hal tersebut sesuai dengan hukum Arrhenius bahwa laju reaksi sebanding dengan suhu reaksi (Saravacos, 1994), dimana suhu reaksi semakin tinggi maka koefisien pembasahan (k) semakin besar, sehingga laju difusi air ke dalam biji semakin besar. Peningkatan koefisien difusi air biji kedelai dengan suhu terlihat meningkat signifikan dapat di lihat pada Tabel 2.

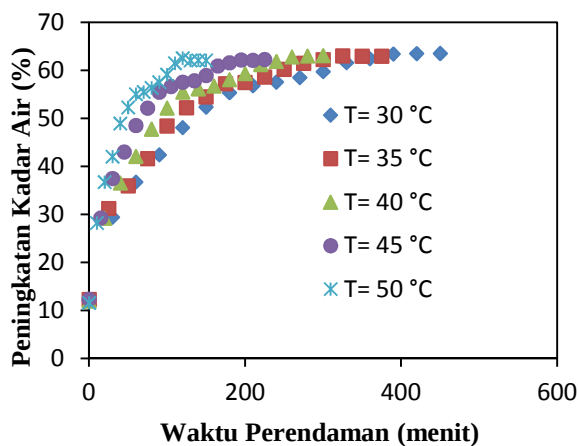
Tabel 2. Koefisien difusi air dan konstanta pembasahan biji kedelai pada suhu yang berbeda

Suhu perendaman ($^{\circ}C$)	Konstanta pembasahan (k)(1/s)	Koefisien difusi ($10^{-11} m^2/s$)
30 (kontrol)	0,0080	16,4
35	0,0090	20,7
40	0,0123	38,9
45	0,0148	56,3
50	0,0233	139

Koefisien difusi air biji kedelai dalam penelitian ini sedikit berbeda dibandingkan dengan koefisien difusi air kacang kedelai yang diteliti oleh Saravacos (1994). Saravacos (1994) menyatakan bahwa koefisien difusi bervariasi, yaitu $1 \times 10^{-12} m^2/s$ sampai dengan $3 \times 10^{-12} m^2/s$ untuk whole dan $5 \times 10^{-12} m^2/s$ pada sampel defatted pada kondisi lingkungan yang sama ($30^{\circ}C$). Sedangkan pada penelitian ini koefisien difusi air biji kedelai pada suhu ruang ($30^{\circ}C$) adalah $16,4 \times 10^{-11} m^2/s$. koefisien difusi air yang berbeda tersebut diduga terjadi karena faktor kadar air, kandungan kimia dan permeabilitas kulit biji kedelai.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa koefisien difusi air biji kedelai meningkat dengan meningkatnya suhu. Dengan demikian penggunaan suhu yang lebih tinggi memiliki potensi untuk mempersingkat waktu perendaman yang diperlukan untuk mencapai kadar air tertentu.

Faktor yang berpengaruh terhadap tinggi atau rendahnya nilai difusivitas diantaranya adalah suhu dan kadar air biji kedelai (Mujumdar, 2004 dalam Marlinda, 2012). Data hasil perhitungan kadar air menunjukkan terjadinya peningkatan kadar air biji kedelai dari waktu ke waktu. Kadar air biji kedelai selama perendaman dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 2. Pengaruh suhu perendaman terhadap perubahan kadar air biji kedelai selama perendaman

Menurut Fahn (1992) menjelaskan bahwa kulit biji pada beberapa spesies lain, air dan oksigen tidak dapat menembus biji tertentu, hal tersebut karena jalan masuk dihalangi oleh sel-sel sklerenkima dan komposisi dinding selnya serta sumpal gabus di kulit biji. Pelepasan sumpal tersebut membutuhkan energi goncangan pada biji, sedangkan suhu tinggi mampu mengguncang dan melepaskan sumpal gabus di kulit biji dengan cepat sehingga biji tersebut mampu menyerap air dengan cepat. Oleh sebab itu, apabila suhu ditingkatkan maka kecepatan penyerapan juga naik sampai batas tertentu, sehingga dapat meningkatkan kadar air biji kedelai.

Volume air dalam membran biji akan memiliki batas kapasitas. Peristiwa laju penyerapan air yang terserap ke dalam biji kedelai yang semakin lama semakin rendah dan akhirnya mencapai laju nol. Kadar air biji kedelai mencapai kondisi maksimum pada waktu perendaman 150 menit yaitu dengan kadar air awal rata-rata 11,96% meningkat sebesar 63,54%. Hal tersebut dikarenakan kadar air pada waktu t (M_t) semakin lama semakin besar dan semakin mendekati kadar air jenuh (M_s) sehingga laju penyerapan menjadi semakin lambat dan akhirnya mencapai titik jenuh.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Suhu dan lama perendaman berpengaruh terhadap perubahan fisik biji kedelai (kadar air dan dimensi). Selama perendaman, kadar air dan dimensi biji kedelai meningkat secara eksponensial. Semakin tinggi suhu air perendaman, laju peningkatan kadar air dan dimensi biji kedelai semakin besar.
2. Suhu berpengaruh terhadap laju penyerapan air ke dalam biji kedelai. Analisis data menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu semakin besar laju difusi air ke dalam biji kedelai mengikuti persamaan $D = 0,058 e^{0,105T}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,960$.

4.2. Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu diadakannya penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat mekanik, seperti kekerasan yang terjadi pada biji kedelai selama perendaman dengan suhu yang berbeda. Dengan demikian akan diketahui lama waktu perendaman yang diperlukan untuk melunakkan biji kedelai pada suhu tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1995. Kedelai. Kanisius, Yogyakarta. 82 hlm.
- Anonim. 2012. Struktur dan Fungsi Buah dan Biji pada Tumbuhan. <http://layartekno.blogspot.com>. [Diakses pada 20 April 2013].
- Darmajana, D.A. 2012. Pengaruh Suhu dan Waktu Perendaman Terhadap Bobot Kacang Kedelai Sebagai Bahan Baku Tahu. Prosiding SNaPP2012 : Sains, Teknologi dan Kesehatan, Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna, LIPI : 159-161.
- Fahn, A. 1992. Anatomi Tumbuhan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta. 837 hlm.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce., and R.L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. Universitas Indonesia Press, Jakarta. 827 hlm.
- Kashaninejad.M., A.A. Dehghani, and M. Kashiri. 2009. Modeling of Wheat Soaking Using Two Artificial Neural Networks (MLP and RBF). Journal of Food Engineering 91 : 602-607.
- Krisnawati, A dan M.M. Adie. 2008. Ragam Karakter Morfologi Kulit Biji beberapa Genotipe Plasma Nutfah Kedelai. Buletin Plasma Nutfah 14 (1) : 14-18.
- Saravacos, G.D. 1994. Mass Transfer Properties of Foods. Marcel Dekker. Inc, New York : 309 hlm.
- Marlinda, R. 2012. Pengaruh Ultrasonik Terhadap Laju Difusivitas Air dan Kerenyahan Pisang Kepok (Musa Paradisiaca). [Skripsi] Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian. Universitas Lampung, Bandar Lampung.